

Stanje horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96

Oskar Sterle¹ in Bojan Stopar²

Povzetek

V prispevku prikazujemo analizo kakovosti horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96, ki smo jo izdelali na osnovi obdelave opazovanj GPS. Opazovanja GPS smo pridobili skozi obdobje od leta 1994 do leta 2013, na 75-ih točkah pasivne mreže in na 63-ih postajah različnih omrežij stalno delujočih postaj na območju Slovenije in njene širše okolice. Primerjali smo dane koordinate D96 geodetskih točk z ocenjenimi koordinatami in ugotovili, da so dane koordinate skladne s pravo geometrijo geodetske mreže le še na nivoju centimetra za postaje omrežja SIGNAL in na nivoju okoli 5 centimetrov za točke pasivne mreže. Na osnovi tega smo ugotovili, da je horizontalna komponenta koordinatnega sistema D96 že zastarela in nujna obnove. Nujna je tudi nova definicija koordinatnega sistema, ki bo vključevala tudi premike točk v času.

Ključne besede: koordinatni sistem D96, mreža pasivnih točk, omrežje stalno delujočih postaj SIGNAL, moderni koordinatni sistemi, GPS

Key words: coordinate system D96, passive network, continuously operating reference station SIGNAL, modern coordinate systems, GPS

Uvod

Ena izmed osnovnih nalog geodezije je geometrični opis prostora. Geometrične lastnosti prostora pridobimo iz geodetskih opazovanj, ki se tekom časa spreminjajo tako po vrsti (smeri, dolžine, opazovanja GNSS...) kot tudi po kakovosti. Glavni vzrok sprememb je bil tehnološki razvoj, ki je podajal nove merske sisteme in posledično načine merjenja. Geometrični opis prostora z opazovanji je nepraktičen in velikokrat težko predstavljen, zato se za opis prostora uporablja koordinatne sisteme (Chen 1983). Potreba po geodetski mreži zadošča le ustrezno vzpostavljen koordinatni sistem. Z razvojem merskih sistemov se je natančnost pridobljenih opazovanj večala in zato je bilo potrebno koordinatne sisteme ustrezno izboljševati tako glede natančnosti kot tudi točnosti (Seeber 2003). Ključni pogoj za ustreznost koordinatnega sistema je skladnost koordinat točk in geodetskih opazovanj, ki je zagotovljena skozi daljše časovno obdobje in je neodvisna od lokacije geodetskih točk.

Moderni koordinatni sistemi temeljijo na satelitskih tehnikah izmere in so skoraj po pravilu časovno odvisni (Sterle in sod. 2009). Položaji geodetskih točk in stalno delujočih postaj so predstavljeni s koordinatami v izbranem koordinatnem sistemu za izbran trenutek s pripadajočim konstantnim vektorjem hitrosti. Koordinatni sistemi, kjer so položaji predstavljeni zgolj s koordinatami točk, so uporabni le za lokalne namene, kjer so spremembe koordinat točk skozi daljši čas zanemarljive v primerjavi z natančnostjo opravljenih geodetskih opazovanj.

Horizontalna komponenta državnega koordinatnega sistema D96 je bila določena na osnovi izmer EUREF v letih 1994, 1995 in 1996 za pasivne točke (Berk in sod. 2003) in na osnovi tedenskih opazovanj GPS v letu 2007 za postaje omrežja SIGNAL (SI-Slovenija G-Geodezija NA-Navigacija in L-Lokacija) (GIS 2007). V sklopu izmer EUREF so meritve

¹UL FGG, Oddelek za geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

²UL FGG, Oddelek za geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

potekale na 49-ih geodetskih točkah, med katerimi je bilo 35 točk slovenske triangulacijske mreže I. reda, preostale točke so bile točke II. reda in geodinamične točke. Na vseh točkah je potekala izmera v trajanju od treh do petih dni, kjer so za srednji trenutek vseh opravljenih izmer prevzeli trenutek 1995,55 (Berk in sod. 2003). Obdelavo opazovanj so izvedli leta 2003, pri čemer so bile koordinate točk določene v koordinatnem sistemu ETRS89. Na ta način je bila realizirana horizontalna komponenta novega koordinatnega sistema z imenom D96. Leta 2007 je na osnovi tedenskega niza opazovanj GPS 15 postaj stalno delujočega omrežja SIGNAL pridobilo koordinate v državnem koordinatnem sistemu D96. Srednji trenutek izmere je bil 2007,26. Ocenjene koordinate točk omrežja SIGNAL so se uskladile s koordinatnim sistemom D96 na osnovi petih uradnih točk EUREF (Donačka gora, Korada, Kucelj, Malija in Velika Kopa), ki so bile vključene obdelavo (GIS 2007). Koordinatni sistem D96 je danes predstavljen z nizom točk in postaj omrežja SIGNAL, ki imajo v D96 podane le koordinate. Točke EUREF predstavljajo geometrijo geodetske mreže Slovenije za trenutek 1995,55, medtem ko postaje omrežja SIGNAL predstavljajo geometrijo Slovenije za trenutek 2007,28. Če so točke EUREF realizirale koordinatni sistem ETRS89 za trenutek 1995,55, tega ne moremo trditi za točke omrežja SIGNAL. Horizontalna komponenta državnega koordinatnega sistema Slovenije D96 tako predstavlja geometrijo v trenutkih 1995,55 (točke EUREF) in 2007,28 (postaje SIGNAL), ki med seboj niso usklajene. Ker so vsi položaji točk podani samo s koordinatami, koordinatni sistem D96 tudi ni usklajen z globalnimi koordinatnimi sistemi, kot sta npr. ITRS ali ETRS. Zaradi nepoznavanja časovnih sprememb koordinat v koordinatnem sistemu D96 je nepoznana tudi skladnost geometrije koordinatnega sistema in opazovanj (Sterle 2015).

Konec leta 2014 in v začetku leta 2015 smo končali obsežno obdelavo opazovanj GPS na območju Slovenije in njene ožje okolice. Opazovanja so obsegala ponovljene izmere na mreži pasivnih točk in večletna opazovanja GPS na stalno delujočih postajah različnih omrežij (Sterle 2015). Ugotovili smo, da se položaji točk na območju Slovenije spreminjajo in da je za daljše časovno obdobje te spremembe položajev potrebno nujno modelirati. Posledično je kakovost horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96 le še na nivoju nekaj centimetrov, kjer je za točke EUREF evidentirana bistveno slabša natančnost kot za primer postaj omrežja SIGNAL.

Pričujoči prispevek prikazuje rezultate obdelave teh opazovanj GPS in njihovo analizo. Najprej predstavljamo nabor geodetskih točk in postaj, obseg opazovanj in postopek obdelave opazovanj. Položaji točk so predstavljeni v koordinatnem sestavu IGB08 s koordinatami, določenimi v trenutku 2005,00, in pripadajočimi vektorji hitrosti. Na koncu naredimo še analizo ustreznosti in kakovosti koordinatnega sistema D96 za sedanji čas.

Nabor podatkov v študiji

Na območju Slovenije in njene okolice, predvsem na območju Hrvaške, je bilo v preteklosti izvedenih veliko izmer GNSS. Nameni izmer so bili različni, od geodinamičnih nalog do zagotavljanja koordinatne osnove lokalnih območij (Sterle 2015). Leta 2006 smo na območju Slovenije pridobili tudi polno operativno omrežje stalno delujočih postaj SIGNAL (Berk in sod. 2006). Skozi čas se je število izmerjenih točk in stalno delujočih postaj večalo, hkrati pa je postajal vedno večji tudi časovni interval izvedenih opazovanj GPS.

Geodetske točke, ki smo jih uporabili v študiji, so pasivne točke kot tudi stalno delujoče postaje. Za celovito in kakovostno obdelavo opazovanj GPS ter za popolnejšo obravnavo časovnih sprememb koordinat točk smo v študiji obravnavali (Sterle 2015):

- stalno delujoče postaje omrežja IGS, ki imajo kakovostne koordinate in vektorje hitrosti v koordinatnem sestavu IGB08 (Rebischung in sod. 2012),
- stalno delujoče postaje omrežje EPN,
- stalno delujoče postaje omrežij v okolici Slovenije in na njenem ozemlju, in sicer FReDNet, APOS in SIGNAL, ter tri stalno delujoče postaje KOPR (Harpha Sea d.o.o., Koper), ZAGR (postaja omrežja CROPOS) in ZALA (postaja omrežja GNSSnet.hu) ter
- številne pasivne točke na območju Slovenije in njene okolice.

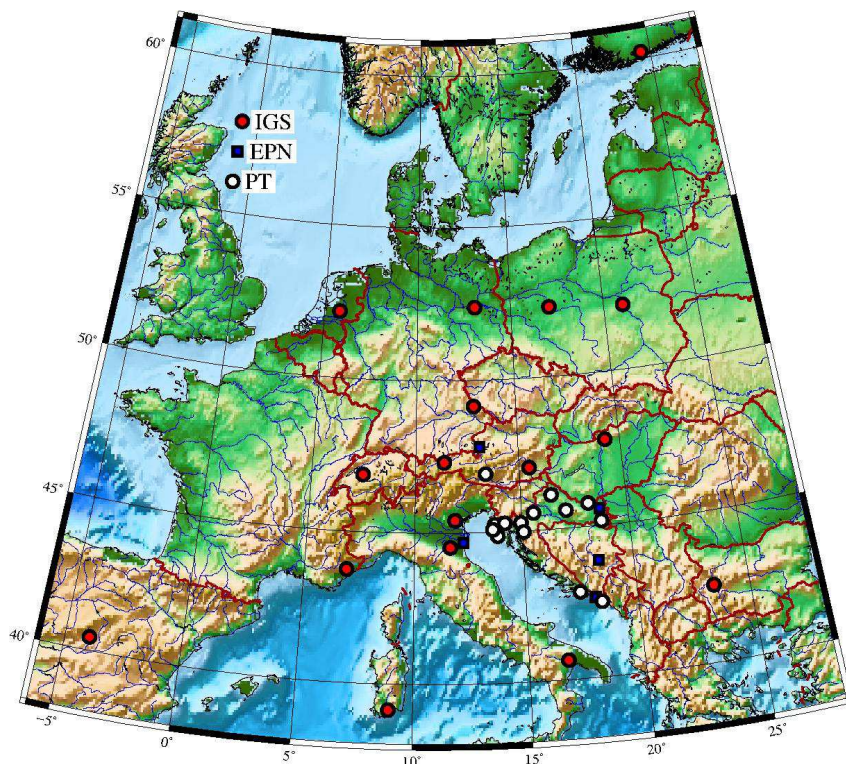
Postaje omrežja IGS predstavljajo dane količine in so realizirale koordinatni sistem ocenjenih koordinat za vse ostale točke v obdelavi. Končno število točk, katerih opazovanja GPS smo vključili v obdelavo, je bilo 138, od teh je bilo 75 pasivnih točk, na katerih so bile narejene terminske izmere, in 63 stalno delujočih postaj, izmed katerih jih je bilo le 16 na območju Slovenije. Časovni razpon opazovanj GPS je bil od leta 1994 do leta 2013.

Preglednica 1: Količina podatkov (točk in opazovanj GPS), vključenih v obdelavo.

Omrežje	Število točk	Število datotek	Časovni razpon
SIGNAL	15	23 207	2002 – 2013*
FReDNet	14	36 165	2002 – 2013
APOS	8	11 531	2002 – 2010
EPN	5	7 943	2002 – 2013
Ostalo	3	3 250	2000 – 2010
Pasivna mreža	75	1 352	1994 – 2011
IGS	18	71 696	1994 – 2013
SKUPAJ	138	155 144	1994 – 2013

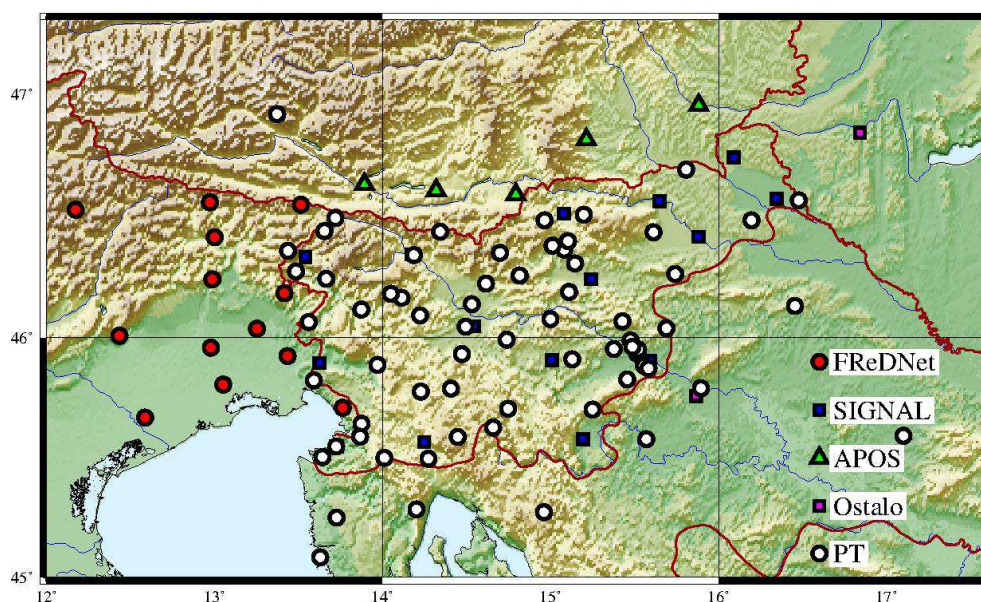
V preglednici 1 podrobneje predstavljamo količino podatkov v obdelavi. Za vsako omrežje je prikazano število točk in obseg opazovanj GPS. Pomembni sta predvsem omrežji SIGNAL in pasivna mreža, saj se večina teh točk nahaja na območju Slovenije. Ostala omrežja so vključena za razširitev območja obdelave ali za zagotovitev koordinatnega sistema (omrežje IGS). V primeru omrežja SIGNAL je znak * pri Časovnem razponu zato, ker smo za časovno obdobje 2010 – 2013 imeli na voljo le opazovanja postaje GSR1 v Ljubljani. Iz preglednice je razvidno, da smo imeli na voljo več kot 150 000 dnevni datotek RINEX s skupaj 138 točk, ki so bile pridobljene v skoraj 20-ih letih.

Geografska porazdelitev geodetskih točk in stalno delujočih postaj širšega območja, t.j. območja celotne Evrope, prikazuje slika 1. Z oznako PT so prikazane točke pasivne mreže, ki so izven območja Slovenije.



Slika 1: Geografska porazdelitev geodetskih točk in stalno delujočih postaj širšega območja.

Geografsko porazdelitev geodetskih točk in stalno delujočih postaj na ožjem območju Slovenije prikazuje slika 2, kjer je enako kot v primeru slike 1 oznaka PT podana za pasivne točke.



Slika 2: Geografska porazdelitev geodetskih točk in stalno delujočih postaj območja Slovenije in njene ožje okolice.

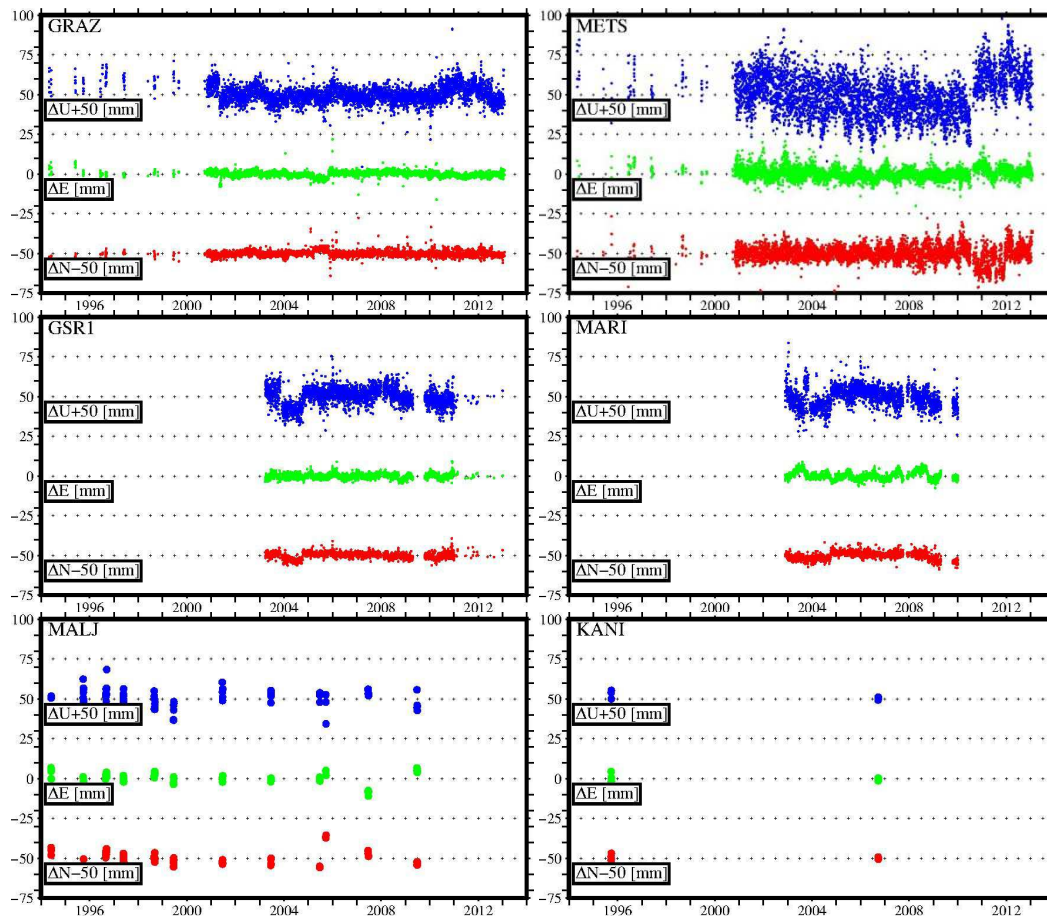
Skupno je bilo od leta 1994 do 2013 kar 4.666 dni, za katere smo imeli na voljo vsaj eno datoteko RINEX na katerikoli točki omrežij iz preglednice 1. Največje število datotek RINEX v enem dnevu je bilo 59, najmanjše pa 9. Količina opazovanj GPS je s časom naraščala, saj se je vzpostavljalo vedno več stalno delujočih postaj GPS.

Obdelava opazovanj GPS

Rezultat obdelave opazovanj GPS nam najprej predstavljajo ocenjene koordinate s pripadajočimi natančnostmi v globalnem koordinatnem sistemu za točke, ki so imele za določen dan podana opazovanja. Pri obdelavi opazovanj GPS poleg koordinat ocenjujemo še številne neznanke (npr. parametre troposfere, fazne nedoločenosti in podobno), vendar bomo tu obravnavali le ocenjene koordinate točk. Obdelava je potekala s programskim paketom *Bernese GPS Software, Version 5.0* (Dach in sod. 2007), ki predstavlja visoko dovršen programski paket obdelave opazovanj GPS za pridobitev rezultatov najvišje natančnosti in točnosti. Za vsak dan podanih opazovanj GPS se s programom *Bernese* obdelata vsa opazovanja GPS naenkrat, da dobimo dnevne rešitve koordinat, ki so določene v koordinatnem sistemu IGB08. Postopek poteka po spodaj prikazanih korakih.

1. Uvoz vseh podatkov v format, berljiv s programom *Bernese*.
2. Sinhronizacija ur sprejemnikov s časom GPS na osnovi kodnih opazovanj GPS.
3. Sestava baznih vektorjev med točkami na principu največjega skupnega števila opazovanj, kjer se najprej določi kratke bazne vektorje na območju Slovenije in njene ožje okolice, nato pa se le-te naveže na ostale točke.
4. Pregled in analiza faznih opazovanj, iskanje izpadov signala in določitev faznih nedoločenosti.
5. Prva rešitev geodetske mreže (izračun rezultatov), ki temelji na linearni kombinaciji L_3 . Cilj obdelave je izračun popravkov opazovanj in odstranitev možnih grobih pogrškov.
6. Druga rešitev geodetske mreže, ki se opredeli kot realna rešitev (angl. float solution), saj so fazne nedoločenosti določene v območju realnih števil.
7. Določitev faznih nedoločenosti v območju celih števil. Pri krajših vektorjih temeljimo na linearni kombinaciji L_5 , medtem ko pri daljših vektorjih uporabimo algoritem QIF.
8. Tretja in končna rešitev geodetske mreže, ki temelji na celih faznih nedoločenostih in linearni kombinaciji L_3 .
9. Zagotovitev geodetskega datuma z minimalnim številom veznih enačb, kjer se določi le datumske parametre premika. Rezultat so koordinate geodetskih točk, ki so usklajene z globalnim koordinatnim sistemom IGB08.
10. Primerjava ocenjenih in danih koordinat točk IGS, ki se izvede s Helmertovo transformacijo. Točke, za katere se dobi preveliko odstopanje, se izvzame iz niza danih točk in se ponovi prejšnji korak.

Končni rezultat obdelave vseh opazovanj iz preglednice 1 na vseh točkah s slik 1 in 2 so ocenjene koordinate vseh točk za vse dni izvedenih opazovanj. Za vsako točko tako pridobimo časovne vrste koordinat točke v koordinatnem sistemu IGB08. Časovne vrste 6-ih točk so prikazane na sliki 3.



Slika 3: Časovne vrste koordinat IGS08 6-ih točk, dve iz omrežja IGS (GRAZ, METS), dve iz omrežja SIGNAL (GSR1, MARI) in dveh pasivnih točk (MALJ, KANI) po odstranitvi trenda.

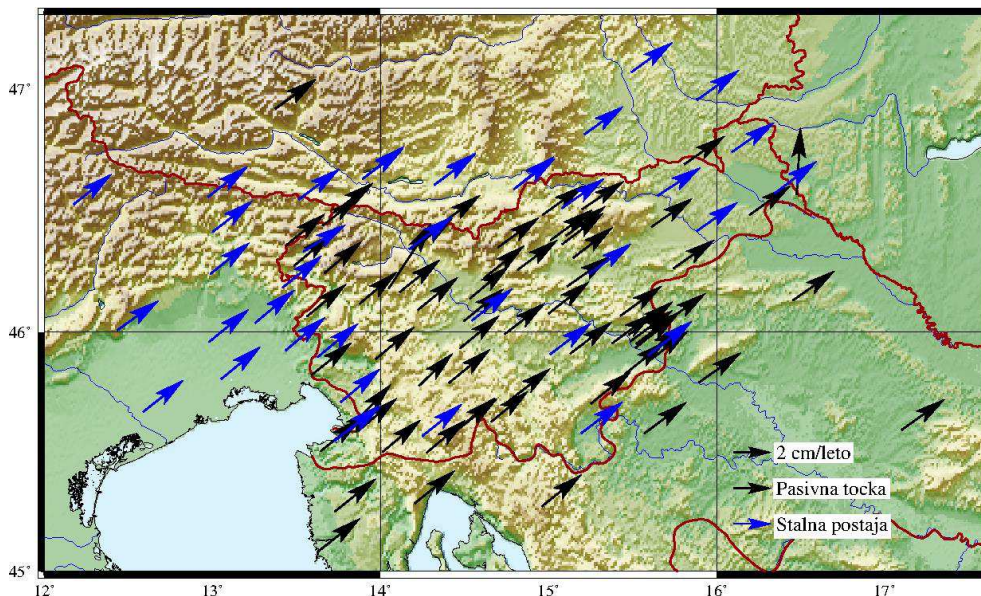
Slika 3 prikazuje časovne vrste koordinat 6-ih točk, ko odstranimo linearen trend spreminjanja koordinat točk skozi čas. Prikazani sta dve postaji omrežja IGS (GRAZ in METS), ki imata podana opazovanja za celotno obdobje podatkov. Za primerjavo so prikazane časovne vrste dveh postaj omrežja SIGNAL (GSR1 in MARI). Z grafov je razvidno, da je ponovljivost koordinat vseh postaj na nivoju nekaj mm po horizontalnih koordinatah in pod-centimetska ponovljivost za višino. Pri postaji METS se vidi prisotnost določenih periodičnih vplivov, ki so najbrž lokalnega značaja. Z grafov vseh točk se vidijo nezvezni preskoki, ki imajo lahko različne vplive. Največkrat se pojavijo zaradi sprememb koordinatnega sistema (npr. iz IGS05 na IGS08) oziroma zaradi zamenjave antene ali sprejemnika GPS na postaji. Na koncu so za primerjavo podane še časovne vrste koordinat za dve pasivni točki, in sicer FGG3 in KANI. Točka FGG3 je bila izmerjena največkrat, medtem ko je bila točka KANI izmerjena samo dvakrat. Razvidna je razlika med količino informacij, ki jo lahko dobimo iz časovnih vrst stalno delujočih postaj, in med količino informacij, ki jo lahko pridobimo iz časovnih vrst pasivnih točk. Na primeru točke KANI tako nimamo kontrole, ali so vsi podatki izmere pravilni (npr. pravilno izmerjene višine antene), saj imamo na voljo podatke le dveh izmer.

Modeliranje časovnih sprememb koordinat točk

Časovne vrste koordinat točk, kot so predstavljene na sliki 3, podajajo možnost modeliranja sprememb koordinat točk skozi čas. Časovno odvisen položaj geodetske točke $\mathbf{X}(t)$ modeliramo s koordinatami točk \mathbf{X} v izbranem referenčnem trenutku t_R in s pripadajočim konstantnim vektorjem hitrosti $\dot{\mathbf{X}}$ (Altamimi in sod. 2012), kot prikazuje enačba (1):

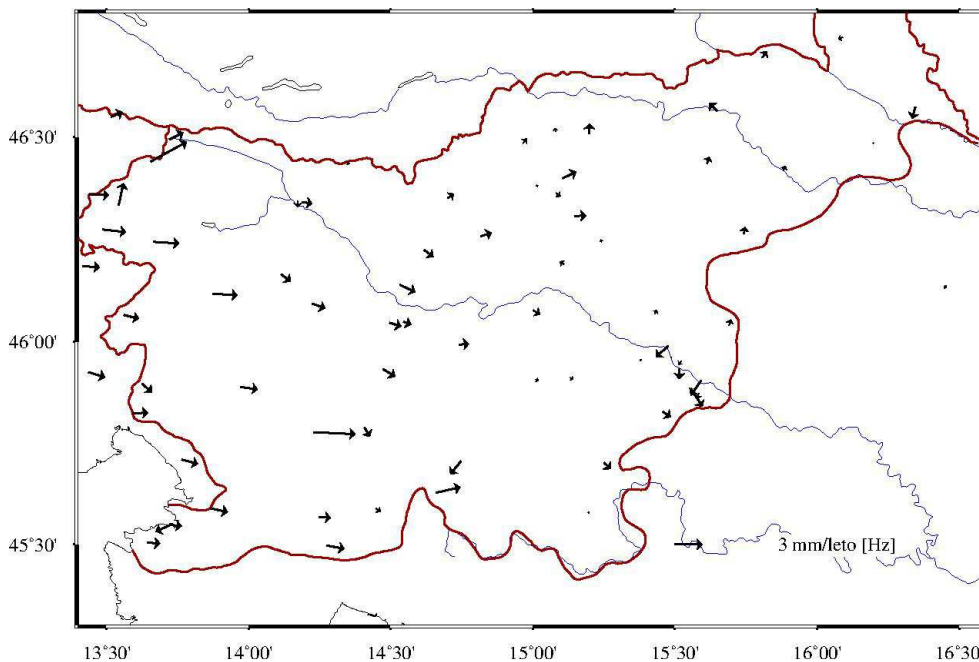
$$\mathbf{X}(t) = \mathbf{X} + (t - t_R)\dot{\mathbf{X}} \quad (1)$$

Za geodinamične raziskave v primeru kakovostno obdelanih opazovanj in pri kakovostni stabilizaciji, se je matematični model iz enačbe (1) izkazal za ustreznega (Amiri-Simkooei in sod. 2007). Slika 4 prikazuje ocenjene vektorje hitrosti za geodetske točke in postaje na območju Slovenije in njene okolice. Vektorji hitrosti so predstavljeni v koordinatnem sistemu IGB08, kjer se vidi premik vseh točk v smeri SV velikosti približno 3 cm.



Slika 4: Ocenjeni vektorji hitrosti v koordinatnem sistemu IGB08 za geodetske točke in postaje na območju Slovenije in njene okolice.

Vektorji hitrosti, ki so prikazani na sliki 4, v večji meri prikazujejo gibanje območja Slovenije v globalnem koordinatnem sistemu IGB08. Ne pokažejo pa relativnega gibanja točk na območju Slovenije, kar predstavlja ključno informacijo za analizo kakovosti horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96. Relativne spremembe položajev točk skozi čas pridobimo na osnovi časovno odvisne transformacije (Sterle 2015). Rezultate prikazujemo na sliki 5.



Slika 5: Ocenjeni vektorji hitrosti na območju Slovenije in njene okolice, ki prikazujejo le relativne premike geodetskih točk in postaj med seboj.

Slika 5 prikazuje vektorje hitrosti točk, prikazanih na sliki 4, kjer je izvzet linearen trend gibanja celotnega območja Slovenije v globalnem koordinatnem sistemu. Preostanek, ki je predstavljen na sliki 5, prikazuje samo še relativne premike geodetskih točk in postaj med seboj. S slike je razvidno, da vektorji hitrosti med seboj niso enaki, razlikujejo se tako po velikosti kot tudi po smeri. Vektorji prikazujejo, da je ozemlje Slovenije podvrženo časovno odvisnim deformacijam in da je horizontalna komponenta državnega koordinatnega sistema D96, ki temelji samo na koordinatah točk, neprimerna.

Kakovost horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96

Kot je že bilo opisano, so bile koordinate točk v D96 določene v trenutku 1995,55 za pasivne točke in 2007,26 za postaje omrežja SIGNAL. Za oba primera velja, da vektorji hitrosti niso bili določeni, zato je horizontalna komponenta državnega koordinatnega sistema D96 definirana kot časovno neodvisna. Na ta način se je predpostavilo, da se koordinate točk in posledično geometrija slovenskega ozemlja ne bodo spreminjale. Slika 5 prikazuje ravno nasprotno, saj se relativni položaji točk med seboj spreminjajo. Ker se spreminja tudi geometrija slovenskega ozemlja, se posledično deformira tudi koordinatni sistem D96. Velikosti vektorjev s slike 5 sicer znašajo le nekaj mm/leto, vendar to v več kot 20-ih letih od določitve koordinat točk v D96 (za pasivne točke) pomeni spremembe v položajih točk od 5 in 10 cm. V primeru postaj omrežja SIGNAL je od določitve koordinat (2007,26) preteklo le okoli 8 let, zato so tudi relativni premiki točk manjši (okoli enega do dveh centimetrov).

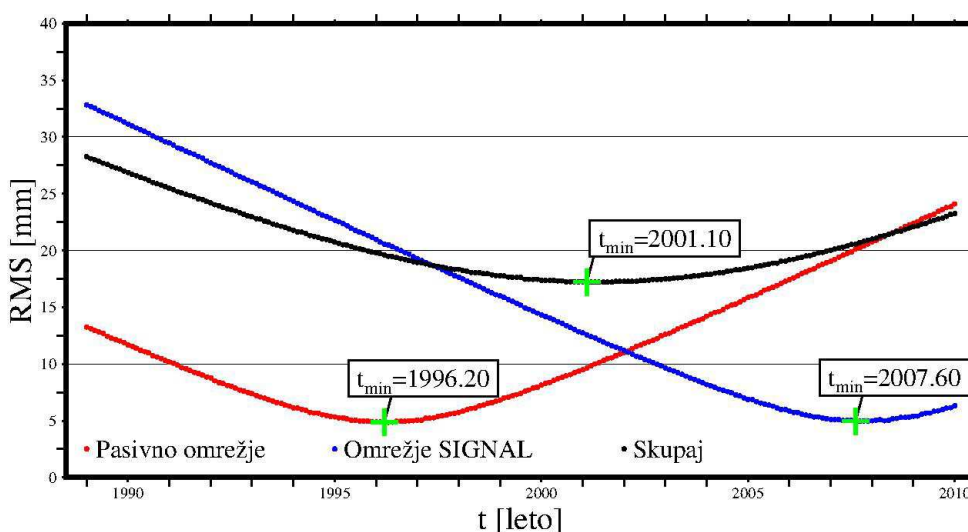
Oceno kakovosti horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96 smo pridobili tako, da smo ocenjene koordinate točk v IGb08 primerjali z danimi koordinatami točk v D96. Problem se pojavi, ker je vsak niz koordinat podan v drugem trenutku, torej opisuje različno geometrijo koordinatnega sistema Slovenije. Edino možno poenotenje je z uporabo ocenjenih vektorjev hitrosti, s katerimi lahko izračunamo IGb08 koordinate točk v

poljubnem trenutku. Naslednji problem predstavlja izbira trenutka izračuna IGB08 koordinat. Prva možnost je trenutek 1995,55, v katerem so določene koordinate pasivnih točk, medtem ko je druga možnost trenutek 2007,26, v katerem so bile poračunane koordinate točk omrežja SIGNAL. Če obravnavamo vse pasivne točke in postaje omrežja SIGNAL v enotnem koordinatnem sistemu, optimalnega trenutka ne poznamo.

Postopek določitve trenutka, v kateri izvedemo primerjavo med danimi in ocenjenimi koordinatami točk, smo izvedli kot (Sterle 2015):

11. Začetni trenutek nastavimo na 1989,00, končnega na 2010,00, korak, s katerim spreminjamo trenutek pa na 0,1.
12. Za vsak trenutek med začetnim in končnim, s podanim korakom izračunamo ocenjene koordinate IGB08 vseh točk in postaj na območju Slovenije.
13. S 7-parametrično prostorsko transformacijo primerjamo ocenjene koordinate točk in postaj v IGB08 in dane koordinate točk in postaj v D96. Vezne točke transformacije določimo na 3 različne načine:
14. vezne točke so pasivne točke,
15. vezne točke so postaje omrežja SIGNAL in
16. vezne točke so vse pasivne točke in postaje omrežja SIGNAL.
17. Za vsako transformacijo izračunamo vrednost korena srednjega kvadratnega pogreška RMS (angl. *Root Mean Square*) iz odstopanj danih koordinat točk D96 od transformiranih koordinat točk IGB08.

Rezultat zgornjih 4-ih alinej je prikazan na sliki 6, ki prikazuje, kako se spreminja vrednost RMS (odstopanja med danimi D96 in transformiranimi ocenjenimi koordinatami D96) skozi čas, to je med letoma 1989 in 2010. Slika 6 prikazuje tri grafe in sicer izračunane vrednosti RMS, ko so vezne točke pasivne točke (rdeča krivulja), ko so vezne točke postaje omrežja SIGNAL (modra krivulja) in ko so vezne točke vse točke in postaje (črna krivulja). Razvidno je, da je najvišja stopnja skladnosti koordinat D96 s pravo geometrijo koordinatnega sistema za trenutek 1996,20 pri pasivnih točkah in za trenutek 2007,60 pri postajah omrežja SIGNAL. V obeh primerih gre za kar dobro oceno pravih trenutkov, v katerih sta bila poračunana oba niza koordinat.



Slika 6: Stopnja skladnosti med danimi koordinatami D96 in transformiranimi ocenjenimi koordinatami D96 za različne nize veznih točk skozi čas.

S slike 6 lahko ocenimo kakovost horizontalne komponente D96 skozi čas in v sedanjem času. Razvidno je, da so bile koordinate D96 pasivnih točk za trenutek 1995,55 določene z visoko kakovostjo in so skladne z našimi rezultati na milimetrskem nivoju. Enako velja za določene koordinate D96 postaj omrežja SIGNAL za trenutek 2007,26. Ne glede na to slika 6 prikazuje tudi na neskladnost koordinat pasivnih točk s koordinatami postaj omrežja SIGNAL, kar prikazuje črna krivulja na sliki 6. Oba niza koordinat sta določena v istem koordinatnem sistemu, a za različna trenutka, kar pomeni, da opisujeta različni geometriji ozemlja Slovenije. Praktično to pomeni, da koordinate nove točke ne bodo skladne, če jih določimo z navezavo na pasivno mrežo oziroma z navezavo na omrežje SIGNAL.

Ključna informacija, ki jo pridobimo z grafov na sliki 6, prikazuje analizo kakovosti državnega koordinatnega sistema D96. Le-ta je v numerični obliki prikazana v preglednici 2, kjer prikazujemo vrednosti RMS po posamezni koordinatni komponenti za različne trenutke in sicer za 1996,20, 2007,60 in za trenutek 2015 (približno sedanje stanje). S s_N je prikazana vrednost RMS v smeri SJ, z s_E vrednost RMS v smeri VZ in z s_U vrednost RMS za višino.

Preglednica 2: Vrednosti RMS za tri trenutke (1996,20, 2007,60 in 2015,00), za tri različne nize veznih točk (pasivne točke, omrežje SIGNAL in vse točke skupaj) po koordinatnih komponentah.

	1996,20			2007,60			2015,00		
MREŽA	s_N	s_E	s_U	s_N	s_E	s_U	s_N	s_E	s_U
Pasivno	2,1	2,4	3,6	19,4	9,0	24,1	22,4	17,0	29,3
SIGNAL	21,1	14,7	30,7	2,5	1,1	4,4	7,6	6,7	8,8
Skupajs	11,8	8,4	17,1	16,0	7,4	19,9	18,9	14,5	24,4

Preglednica 2 prikazuje, da je trenutno (leto 2015) kakovost državnega koordinatnega sistema D96 v najboljšem primeru na centimetrskem nivoju za posamezno koordinatno komponento, če le-to določamo na osnovi omrežja SIGNAL. Če kakovost državnega koordinatnega sistema D96 vrednotimo preko pasivnih točk, je le-ta samo še na nekaj centimetrskem nivoju za posamezno komponento. Iz zgornjega sledi, da je stopnja skladnosti koordinat točk omrežja SIGNAL z opazovanj GNSS, ki jih pridobimo na teh točkah, le še na nivoju centimetra. Koordinate točk omrežja SIGNAL so torej slabše natančnosti, kot so izvedena opazovanja. Situacija je v primeru pasivnih točk še slabša, saj je stopnja skladnosti z opazovanji le še na nivoju nekaj centimetrov.

Iz preglednice 2 in predvsem s slike 6 lahko vidimo, da je državni koordinatni sistem, ki temelji le na danih koordinatah referenčnih točk, hitro zastarel in ne zagotavlja svojega osnovnega poslanstva, to je skladnosti koordinat in opazovanj. Razvidno je, da je tak koordinatni sistem uporaben največ 5 let, potem pa neskladje naraste do take mere, da dane koordinate, ki so slabe kakovosti, posegajo v geometrijo geodetskih opazovanj in v ocenjene koordinate novih točk.

Zaključek

Prispevek prikazuje analizo horizontalne komponente državnega koordinatnega sistema D96 na osnovi obdelave opazovanj GPS s stalno delujočih postaj omrežja SIGNAL in ponovljenih opazovanj GPS na točkah pasivne mreže. Obdelana je bila velika količina opazovanj GPS, ki so bila pridobljena v skoraj 20-ih letih, od 1994 do 2013. Rezultat

obdelave so časovne vrste koordinat, na podlagi katerih smo ocenili vektorje hitrosti vseh točk v koordinatnem sistemu IGB08. Ocenjeni vektorji hitrosti kažejo na spreminjanje geometrije območja Slovenije z velikostjo do nekaj milimetrov na leto, kar obdobju dvajsetih let od vzpostavitve koordinatnega sistema D96 na osnovi točk pasivne mreže pomeni spremembo relativnih položajev točk več kot 5 cm.

Koordinate vseh točk v državnem koordinatnem sistemu so tako stare 20 let (pasivna mreža) oziroma 8 let (omrežje SIGNAL). V obeh primerih smo ugotovili, da niso več skladne s trenutno geometrijo območja. Neskladnost je večja pri pasivni mreži in znaša okoli pet centimetrov, medtem ko neskladje pri postajah omrežja SIGNAL znaša okoli centimetra. V obeh primerih je točnost koordinat točk slabša od natančnosti opazovanj, ki jih lahko na točkah izvedemo (npr. opazovanja GNSS). Za velikosti relativnih premikov, ki so bili ugotovljeni na območju Slovenije, je bilo pokazano, da so časovno neodvisne koordinate geodetskih točk za opis geometrije s centimetrsko točnostjo uporabne največ 5 let. Koordinate, ki so starejše od 5 let, vsebujejo napako, ki se odraža v natančnosti novo vzpostavljene točke, ki jo lahko določimo največ s centimetrsko natančnostjo.

Zaključimo lahko, da je horizontalna komponenta državnega koordinatnega sistema D96 že preko meje natančnosti in točnosti, kot bi jo državni koordinatni sistem moral zagotavljati. Natančnosti opazovanj GPS so določene z veliko višjo natančnostjo, zato se napake v starih in statičnih koordinatah že prenašajo na novo določene geodetske točke. Vzpostavitev novega koordinatnega sistema in sestava je tako nujna. Nujno je potrebno upoštevati premike točk in koordinate točk določiti na novo tako, da z novimi koordinatami ne bomo posegali v geometrijo opazovanj kot tudi ne v koordinate novih točk.

Literatura in viri

- Altamimi, Z., Métivier, L., Collilieux, X.. (2012). ITRF2008 plate motion model. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 117(B7).
- Amiri-Simkooei, A. R., Tiberius, C. C. J. M., Teunissen, P. J. G. (2007). Assessment of noise in GPS coordinate time series: Methodology and results. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 112(B7).
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanović, M., Radovan, D., Stopar, B. (2003). Kombinirani izračun EUREF GPS-kampanj na območju Slovenije. *Geodetski vestnik*, 47(4), 414-422.
- Berk, S., Kozmus, K., Radovan, D., Stopar, B. (2006). Planning and realization of the Slovenian permanent GPS network. *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, 113(11-12), 383-387.
- Chen, Y. (1983). *Analysis of Deformation Surveys – A Generalized Method*. Doktorska disertacija, Fredericton, New Brunswick, Kanada, Univerza New Brunswick, 262 p.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., Meindl, M. (2007). *Bernese GPS Software, Version 5.0*. Bern, Švica, Astronomski inštitut Univerze v Bernu, 612 p.
- GIS (2007). Izračun koordinat stalnih postaj omrežja SIGNAL – uskladitev s slovenskim geodetskim datumom.
http://www.gu-signal.si/sites/default/files/Obvestilo_MiniEUREF07_21_12_2007.pdf
(24.12.2015).
- Rebischung, P., Griffiths, J., Ray, J., Schmid, R., Collilieux, X., Garayt, B. (2012). IGS08: the IGS realization of ITRF2008. *GPS Solutions*, 16 (4), 483-494.
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy, 2nd completely revised and extended edition*. Walter de Gruyter, Berlin, New York, 589 p.
- Sterle, O. (2015). Časovno odvisne geodetske mreže in koordinatni sistemu. Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 196 str.
- Sterle, O., Pavlovčič Prešeren, P., Kuhar, M., Stopar, B. (2009). Definicija, realizacija in vzdrževanje modernih koordinatnih sistemov. *Geodetski vestnik*, 53 (4), 679-694.